

---

УДК 629.114.2.004.5

*А. Ф. Скадорва*

---

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗНОСА ФРИКЦИОНОВ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС-2103»**

---

UDC 629.114.2.004.5

*A. F. Skadorva*

---

**PRACTICAL IMPLEMENTATION AND TESTING OF THE ELECTRONIC SYSTEM FOR CONTROLLING WEAR OF FRICTION CLUTCHES OF THE «BELARUS-2103» TRACTOR GEARBOX**

---

**Аннотация**

В работе приведены результаты практической реализации и испытаний электронной системы контроля износа фрикционов коробки передач (КП) трактора «Беларус-2103». Изложены методы создания источников информации для измерения износа фрикционов и электронного блока обработки и анализа электрических сигналов от датчика, пропорциональных износу фрикционов КП трактора «Беларус-2103». На основе анализа результатов стендовых и натурных испытаний электронной системы контроля износа фрикционов КП трактора «Беларус-2103» уточнены пороговые значения износа фрикционов, вызывающих резонансные крутильные колебания масс трансмиссии трактора.

**Ключевые слова:**

трактор, износ, коробка передач, фрикционы, датчик, динамическая нагруженность, крутильные колебания, фрикционный слой.

**Abstract**

The results of practical implementation and testing of the electronic system for controlling wear of friction clutches of the gearbox of the «Belarus-2103» tractor are given. The paper presents methods for producing sources of information to measure wear of friction clutches and the electronic unit to process and analyze electrical signals from the sensor, which are proportional to the wear of friction clutches of the «Belarus-2103» tractor gearbox. Based on the analysis of the results of bench and full-scale tests of the electronic system controlling wear of friction clutches of the «Belarus-2103» tractor gearbox, the thresholds of their wear have been defined which cause resonant torsional vibrations of masses of the tractor transmission.

**Key words:**

tractor, wear, gearbox, friction clutches, sensor, dynamic loading, torsional vibrations, friction layer.

---

Результатами теоретических исследований [1–4] были установлены пороговые значения износа фрикционных элементов КП трактора «Беларус-2103», вызывающих значительные динамические нагрузки в трансмиссии трактора, что в итоге может привести к поломке дорогостоящей коробки передач. Поэтому контроль износа фрикционов коробки передач трактора «Бе-

ларус-2103» с переключением без разрыва потока мощности необходим для прогноза состояния динамической нагруженности трансмиссии трактора, что представляется весьма важным для принятия своевременных мер профилактики КП и тем самым для обеспечения продления срока службы коробки. Для практической реализации электронной системы контроля износа по-

рошкового фрикционного слоя с маслоотводящими каналами, используемого в механической КП гусеничного трактора «Беларус-2103» с переключением без разрыва потока мощности, был разработан электромагнитный датчик [5], основанный на использовании эффекта Холла. Принципиальная схема датчика представлена на рис. 1. Элементы датчика измерения износа фрикционов приведены на рис. 2. Датчик состоит из двух магнитов различной полярности 1, образующих вокруг себя постоянное магнитное поле. При изношенных фрикционных накладках пакета фрикционных дисков 1 поршень 5 перемещается на величину  $b$  (см. рис. 1). Магнитная система 4 при этом располагается одним из полюсов магнитов ближе к датчику Холла, расположенному в концевике 1 преобразователя (рис. 3). Датчик Холла формирует разность потенциалов  $U_1$ , который преобразуется светодиодом 7 в оптическое излучение фоторезистором 8. Величина

сопротивления фоторезистора зависит от интенсивности светового потока.

При износе фрикционных дисков 1 увеличивается ход поршня  $b$ , что вызывает перемещение магнитной системы 4 относительно датчика Холла. При этом изменяется значение разности потенциала, выдаваемого датчиком Холла. Это приводит к изменению светового потока, исходящего от светодиода 7, что, в свою очередь, влияет на сопротивление фоторезистора 8. Увеличение или уменьшение светового потока приводит к изменению выходного напряжения операционного усилителя 11. Аналого-цифровой преобразователь 12 предназначен для регистрации изменения выходного сигнала и является составной частью бортового компьютера 13.

Стендовые испытания разработанного элемента системы диагностики фрикционных муфт проводились в лабораторном комплексе УКЭР-2 ПО «МТЗ». Схема стенда приведена на рис. 4.

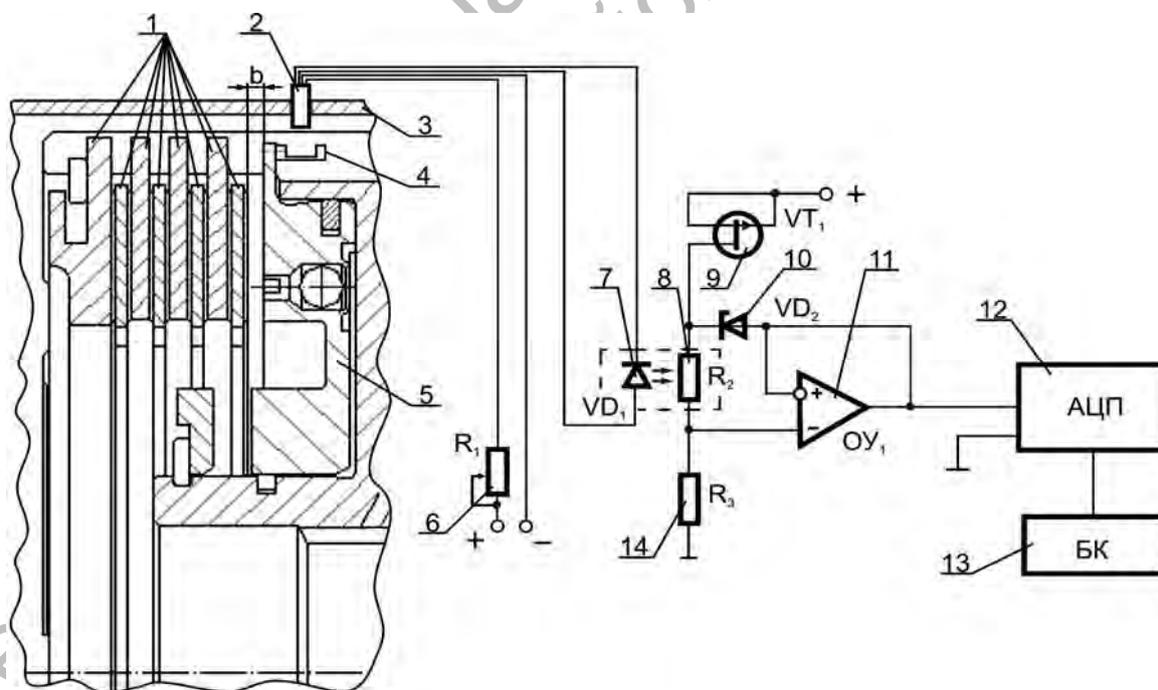


Рис. 1. Принципиальная схема датчика измерения износа фрикционов КП: 1 – пакет фрикционных дисков; 2 – датчик Холла; 3 – корпус КП; 4 – магнитная система; 5 – поршень; 6 – переменный резистор; 7 – светодиод; 8 – фоторезистор; 9 – полевой транзистор; 10 – стабилизатор; 11 – операционный усилитель; 12 – аналого-цифровой преобразователь; 13 – бортовой компьютер; 14 – постоянный резистор

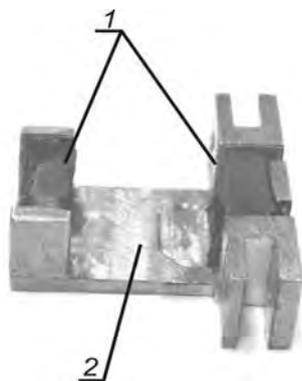


Рис. 2. Элементы датчика измерения износа фрикционов: 1 – магниты разной полярности; 2 – корпус



Рис. 3. Преобразователь датчика измерения износа фрикционов: 1 – концевик с датчиком Холла; 2 – корпус; 3 – стопорные гайки; 4 – кабель

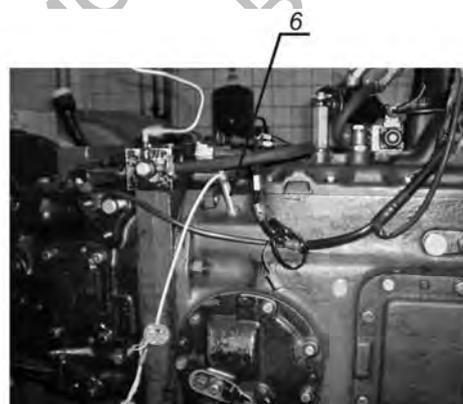
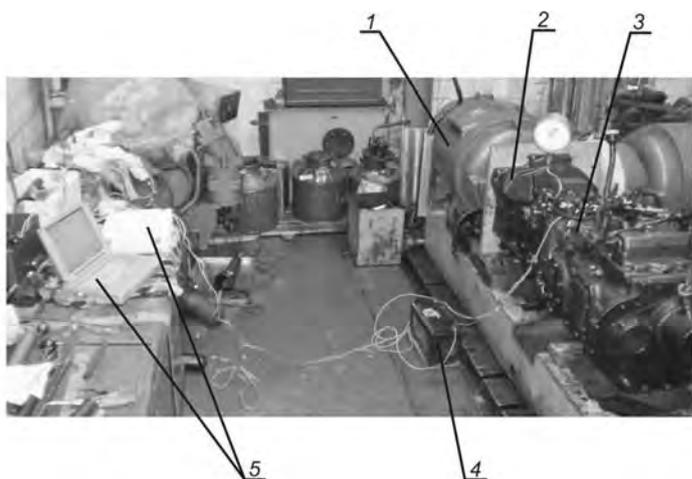


Рис. 4. Стенд испытаний электронной системы контроля износа фрикционов КП трактора «Беларус-2103»: 1 – машина балансирная (мощность 200 кВт); 2 – стойка установки испытуемой коробки передач с корпусом сцепления; 3 – коробка передач испытуемая; 4 – источник питания (АКБ); 5 – измерительный блок SPIDER 8; 6 – датчик измерения износа фрикционной муфты

Запись выходных электрических сигналов, пропорциональных износу фрикционов коробки передач трактора «Беларус-2103», осуществлялась с помощью измерительного блока SPIDER 8.

Принципиальная схема стенда испытаний коробки передач трактора «Беларус-2103» представлена на рис. 5.

Методика стендовых испытаний коробки передач предусматривала периодическое переключение передач с нижней передачи на высшую и наоборот по схеме нагружения 3–4–3 (цифры означают номера передач) при следующих параметрах:

- частота вращения вала балансирной машины на установившемся режиме –  $(2100 \pm 20) \text{ мин}^{-1}$ ;
- длительность одного цикла –  $(30 \pm 2) \text{ с}$ ;
- длительность фазы цикла, соответствующей работе стенда на включенной в КП нижней передаче, –  $(15 \pm 1) \text{ с}$ ;
- длительность фазы цикла, соответствующей работе стенда на включенной в КП высшей передаче, –  $(15 \pm 1) \text{ с}$ ;
- вращающий момент на валу балансирной машины при включенной в КП высшей (в каждой из схем нагруже-

ния) передаче на установившемся режиме – 660...680 Н·м;

– вращающий момент на валу балансирующей машины при включенной в КП низшей (в каждой из схем нагружения) передаче на установившемся режиме – 550...600 Н·м;

– давление масла в системе управления фрикционными в КП –  $(1,3 \pm 0,5)$  МПа;

– температура масла в КП не должна превышать  $+90$  °С;

– цикл в каждой из схем нагружения – последовательные переключения в КП с низшей передачи на высшую и обратно (например, 3–4–3);

– длительность одного цикла – время между одноименными последовательными его фазами;

– статический момент срыва муфты сцепления – в пределах 1500...1800 Н·м;

– записи процессов переключения передач в КП по каждой из схем нагружения в начале (при наработке 100...300 циклов) и в конце (при наработке 29700...30000 циклов) испытаний с регистрацией:

а) частоты вращения вала балансирующей машины;

б) частоты вращения вторичного вала КП;

в) вращающего момента на валу балансирующей машины;

г) давления масла в системе управления фрикционными высшей и низшей передач (на выходе из распределителя);

д) вращающего момента на выходном валу КП;

– записи процессов переключения передач – при температурах масла в КП  $t_1 = 25...35$  °С и  $t_2 = 75...85$  °С;

– количество последовательных записей процессов переключения передач на каждом из температурных режимов – не менее двух;

– интервал между последовательными записями – 30...35 с;

– интервал опроса параметров при записях процессов – 0,01 с;

– допускаемые отклонения при замерах:

а) вращающих моментов на валу балансирующей машины и выходном валу КП –  $\pm 50$  Н·м;

б) частот вращения вала балансирующей машины и вторичного вала КП –  $\pm 20$  мин<sup>-1</sup>;

в) количества циклов переключения передач – не более 5 на 10000 включений;

г) длительности цикла –  $\pm 0,1$  с;

д) температуры масла в КП –  $\pm 5$  °С.

После набора  $(500 \pm 10)$  циклов испытаний производили разборку КП для обмера толщины фрикционных дисков и визуальной оценки их состояния.

Для измерения давления в каналах управления муфтами фрикционных дисков р<sub>1...4</sub> были использованы датчики давления, которые размещались на выходе электрогидравлического распределителя.

Анализ результатов испытаний подтвердил возможность получения от датчика линейных выходных электрических сигналов, пропорциональных износу фрикционных коробки передач. Осциллограмма изменения параметров КП при переключении передач по схеме 3–4, полученных при проведении стендовых испытаний коробки передач при отсутствии износа фрикционных, представлена на рис. 6.

Для сравнительной оценки влияния записи сигналов с КП без износа фрикционного слоя в фрикционных муфтах были установлены фрикционные диски с суммарным износом 67...83 % от начального размера. Осциллограмма изменения параметров переключения передач при износе фрикционных приведена на рис. 7.

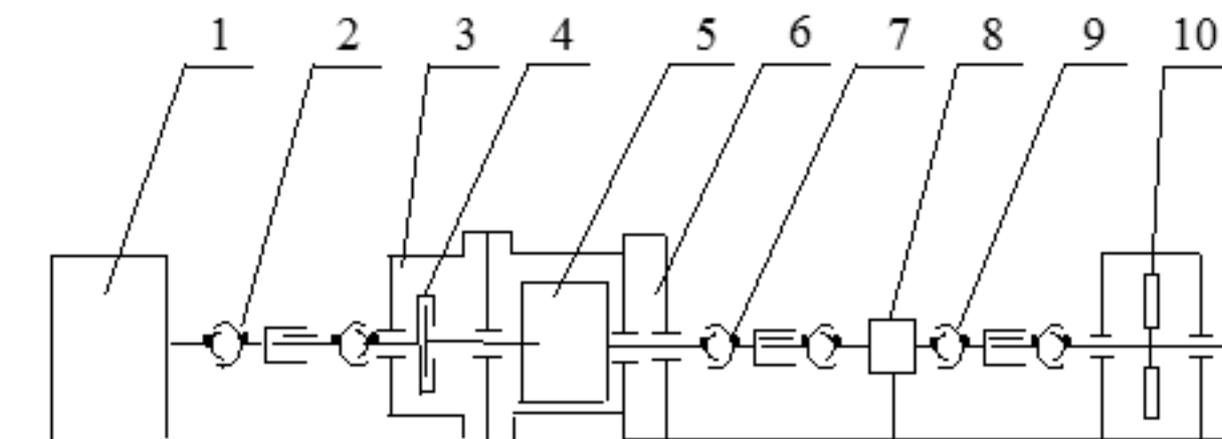


Рис. 5. Схема стенда испытаний коробки передач трактора «Беларус-2103»: 1 – машина балансирующая (мощность 200 кВт); 2, 7, 9 – передачи карданные; 3, 6 – стойки установки испытуемой коробки передач с корпусом сцепления; 4 – муфта сцепления; 5 – коробка передач испытуемая; 8 – датчик вращающего момента; 10 – нагрузочный (электрический тормоз)

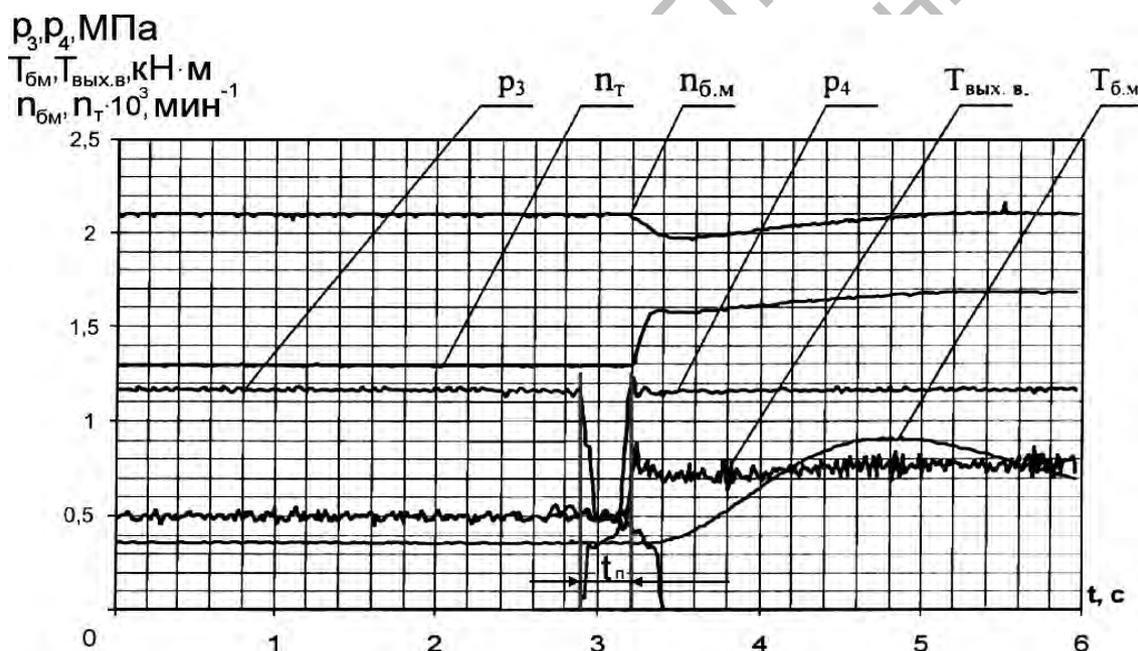


Рис. 6. Осциллограмма процесса переключения передач (по схеме 3–4) при отсутствии износа фрикционного слоя в КП:  $p_{1...4}$  – давления в каналах управления муфтами фрикционов;  $M_{\text{вых. в.}}$ ;  $M_{\text{б.м.}}$  – вращающие моменты на выходном валу КП и на валу балансирующей машины;  $n_{\text{т}}$ ,  $n_{\text{б.м.}}$  – частоты вращения вала тормоза (выходного вала КП) и вала балансирующей машины

Анализ осциллограммы (см. рис. 6) показал, что при отсутствии износа фрикционов время перекрытия передач  $t_{\text{п}}$  составляет 0,3 с. Данный интервал времени перекрытия передач по мере износа фрикционного слоя увеличивался.

Из рис. 7 видно, что при износе

фрикционного слоя коробки передач наблюдается и увеличение времени переключения, и возрастание динамической нагруженности трансмиссии, что наглядно демонстрируется скачкообразным изменением давления во включаемой муфте. Следовательно, износ фрик-

ционного слоя не только увеличивает время перекрытия, но и приводит к снижению КПД коробки передач за счет увеличения динамической нагруженно-

сти трансмиссии трактора из-за возникновения резонансных колебаний масс трансмиссии, которые в последующем могут повлечь выход из строя КП.

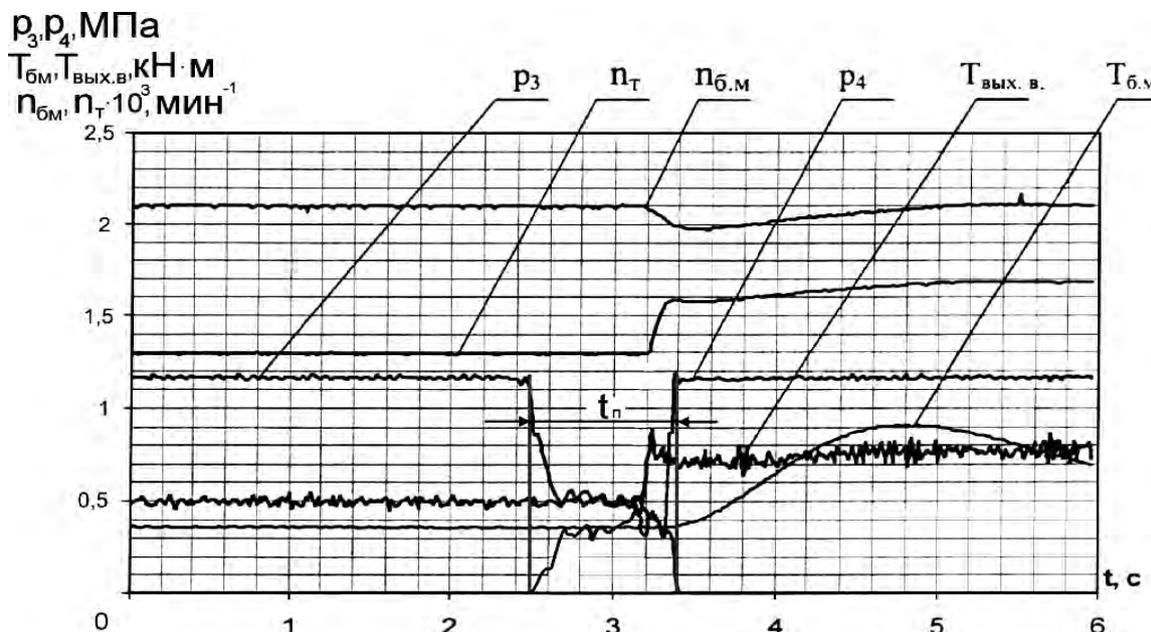


Рис. 7. Оциллограмма процесса переключения передач по схеме 3-4 при износе фрикционного слоя в КП на 20 %

Износ фрикционного слоя на 20 %, что соответствует увеличению хода поршня на 0,8...1,0 мм, вызывает вынужденные колебания масс трансмиссии с частотами, приближенные к частотам ее собственных колебаний на рабочих передачах, реализующих номинальные крюковые усилия, и находящиеся в диапазоне 20...80 Гц. Следовательно, пороговый износ фрикционного слоя коробки передач находится в диапазоне 0,8...1,0 мм, который должен отслеживаться бортовой системой контроля, предупреждая водителя о возникновении резонансных нагрузок в трансмиссии трактора.

Натурные испытания бортовой системы контроля износа фрикционов проводились на тракторе «Беларус-2103» (рис. 8) в полевых условиях. Анализ результатов показал, что система контроля износа фрикционов коробки передач может осуществлять регистрацию изно-

са фрикционов с точностью до 0,25 мм, что подтверждает возможность получения предупреждающей информации об износе фрикционов при использовании диагностической системы в коробке передач трактора «Беларус-2103».

### Выводы

1. Практически реализован и испытан макетный образец бортовой системы контроля износа фрикционов КП трактора с переключением без разрыва потока мощности, позволяющий проводить прогноз возникновения пиковых нагрузок в трансмиссии трактора, возникающих при износе поверхностного слоя фрикционов КП на 0,8...1,0 мм.

2. Согласно результатам испытаний коробки передач, при реализации крюковых нагрузок (20...25 кН) частоты колебаний масс трансмиссии совпадают с частотами собственных колебаний масс трансмиссии, находящихся в

диапазоне  $20...80 \text{ с}^{-1}$  (в зависимости от включенной передачи) при износе фрикционного слоя коробки передач в диапазоне  $0,8...1,0 \text{ мм}$  (износ подлежит непрерывной идентификации).

3. При полевых испытаниях доказано, что система контроля износа фрикционов коробки передач может

осуществлять регистрацию износа фрикционов, что подтверждает возможность получения предупреждающей информации об износе фрикционов при использовании диагностической системы в коробке передач трактора.



Рис. 8. Трактор «Беларус-2103» с плугом Kverneland DC100

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование возможности диагностирования состояния фрикционных элементов гидроподжимных муфт тракторных КПП / А. Н. Карташевич [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – № 3. – С. 113–117.
2. **Скадорва, А. Ф.** Применение магнитных датчиков для диагностирования фрикционных муфт трактора / А. Ф. Скадорва // Молодёжь и инновации – 200 : сб. науч. тр. – Горки, 2009. – С. 129–131.
3. **Скадорва, А. Ф.** Моделирование работы трения фрикционов коробки передач гусеничного трактора с переключением без разрыва потока мощности при работе с номинальным крюковым усилием / А. Ф. Скадорва, А. Н. Карташевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2014. – № 4. – С. 113–120.
4. **Скадорва, А. Ф.** Критерий оценки качества функционирования фрикционной муфты коробки передач гусеничного трактора «Беларус-2103» / А. Ф. Скадорва, А. Н. Карташевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 4. – С. 80–91.
5. Электромагнитный датчик износа фрикционных накладок гидроподжимной муфты : пат. 6607 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. Ф. Скадорва, А. А. Рудашко, О. В. Понталёв, В. А. Коробкин, Ю. А. Андрияненко ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. с.-х. акад. – u20100160 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 29.06.10. – № 5. – 3 с. : ил.

*Статья сдана в редакцию 10 ноября 2014 года*

**Андрей Феликсович Скадорва**, ассистент, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: +375-291-98-03-85.

**Andrei Feliksovich Skadorva**, assistant lecturer, Belarusian State Agricultural Academy. Phone: +375-291-98-03-85.